BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

LÊ VĂN THÌN

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NGUY CƠ LŨ QUÉT CHO KHU VỰC MIỀN NÚI PHÍA BẮC VIỆT NAM

Ngành: Thủy văn học

Mã số: 9 44 02 24

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, 2026

Công trình được hoàn thành tại: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Trần Đình Hòa

TS. Nguyễn Đăng Giáp

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Tiền Giang
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên

Phản biện 2: PGS.TS. Ngô Lê An
Trường Đại học Thủy lợi

Phản biện 3: PGS.TS. Mai Văn Khiêm
Cục Khí tượng Thủy văn

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Viện họp tại Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, số 171 Tây Sơn, Kim Liên, Hà Nội

vào hồi ..... giờ ..... ngày ..... tháng ..... năm 2026.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam;
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Lũ quét là một trong những loại hình thiên tai nguy hiểm nhất ở khu vực miền núi, xảy ra bất ngờ, thường vào ban đêm, có sức tàn phá lớn. Riêng năm 2023, hai trận lũ quét lớn tại Mù Cang Chải (Yên Bái) và Sa Pa (Lào Cai) đã gây thiệt hại nặng nề; năm 2022 ghi nhận tới 310 trận lũ, lũ quét. Cảnh báo sớm nguy cơ lũ quét sẽ giúp giảm thiểu thiệt hại, đặc biệt là về người.

Hiện nay, một số hệ thống FFGS (SEAFFGS, VNOFFG, MRCFFGS…) đang được sử dụng ở Việt Nam để cảnh báo nguy cơ lũ quét theo thời gian. Đặc điểm chung của các hệ thống này là sử dụng lượng mưa dự báo làm đầu vào và cảnh báo nguy cơ theo tiểu lưu vực. Do xác định nguy cơ theo tiểu lưu vực, các phụ lưu bên trong không được phân tích riêng biệt, dẫn đến cảnh báo thiếu chi tiết, không xác định được vị trí cụ thể trên từng đoạn suối – tạo ra khoảng trống trong việc trả lời hai câu hỏi quan trọng nhất của cảnh báo lũ quét: "ở đâu" và "khi nào".

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã xây dựng ngưỡng cảnh báo dựa trên lượng mưa, lưu lượng, mực nước… Tuy nhiên, luận án cho rằng bản chất nguy hiểm của lũ quét nằm ở sức mạnh của dòng chảy – tác động của dòng chảy lũ lên lòng dẫn và các đối tượng chịu tác động – điều mà các ngưỡng hiện tại chưa thể hiện rõ ràng. Từ đó, luận án thực hiện đề tài "Nghiên cứu xây dựng phương pháp xác định nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam" nhằm xác định ngưỡng cảnh báo dựa trên công

suất dòng chảy, đồng thời xây dựng giải pháp tính toán nguy cơ lũ quét đến mọi vị trí theo không gian và thời gian.

2. Mục tiêu luận án

– Phân cấp được nguy cơ lũ quét dựa trên công suất dòng chảy, vận tốc dòng chảy và xây dựng bộ công cụ xác định nguy cơ lũ quét theo không gian và thời gian.

– Áp dụng bộ công cụ xác định được nguy cơ lũ quét cho lưu vực nghiên cứu điển hình: lưu vực sông Nghĩa Đô, tỉnh Lào Cai.

3. Câu hỏi nghiên cứu

– Đại lượng vật lý nào của dòng chảy đặc trưng cho sức tàn phá của lũ quét và có thể dùng làm cơ sở xây dựng ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét đặc trưng cho khu vực miền núi phía Bắc, thay cho các ngưỡng kinh nghiệm dựa trên lượng mưa hay lưu lượng tràn bờ?

– Bằng cách nào để xác định nguy cơ lũ quét đến độ phân giải điểm theo không gian và thời gian mà vẫn phản ánh được cơ chế thủy văn thượng nguồn tại mỗi vị trí, đồng thời bảo đảm tốc độ tính toán đáp ứng yêu cầu vận hành cảnh báo theo thời gian thực?

– Trong điều kiện thiếu số liệu khảo sát đặc trưng của khu vực miền núi phía Bắc, làm thế nào để ước tính được các tham số thủy lực (vận tốc, mực nước…) phục vụ tính toán ngưỡng nguy cơ tại những vị trí không có số liệu mặt cắt?

4. Luận điểm bảo vệ

– Luận điểm 1. Bản chất nguy hiểm của lũ quét được quyết định bởi công suất đơn vị dòng chảy và vận tốc dòng chảy. Ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét xây dựng trên hai đại lượng này phản ánh đúng sức tàn phá của dòng chảy lũ, phân biệt được lũ quét với lũ thường, đồng thời lý giải được trên cơ sở vật lý vì sao lũ quét không hình thành tại các vị trí đỉnh núi hay trên các sông lớn.

– Luận điểm 2. Lũ quét là kết quả cực đoan của phản ứng thủy văn của một lưu vực cụ thể. Khi xem mỗi điểm trên mạng lưới sông suối là cửa ra của một lưu vực thượng nguồn độc lập ("lưu vực ô lưới") và mô phỏng dòng chảy bằng mô hình thủy văn tập trung (SCS-CN kết hợp đường quá trình lũ đơn vị) tích hợp với GIS, nguy cơ lũ quét được xác định đến độ phân giải điểm theo cả không gian và thời gian, đồng thời vẫn phản ánh được cơ chế thủy văn của lưu vực thượng nguồn tại mỗi vị trí, với tốc độ tính toán đáp ứng yêu cầu vận hành cảnh báo theo thời gian thực.

– Luận điểm 3. Hình thái mặt cắt ngang của sông suối nhỏ khu vực miền núi phía Bắc có thể được khái quát hóa bằng hai chỉ số đặc trưng r và k. Nhờ đó, các tham số thủy lực cần thiết cho việc tính toán ngưỡng công suất và vận tốc được ước tính tại mọi vị trí, cho phép áp dụng phương pháp ngay cả đối với các lưu vực vừa và nhỏ thiếu số liệu khảo sát chi tiết.

5. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

– Đối tượng nghiên cứu: lũ quét; ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét; cảnh báo nguy cơ lũ quét.

– Phạm vi nghiên cứu: lũ quét do mưa (không xét lũ quét bùn đá, nghẽn dòng và các yếu tố trượt lở đi kèm) cho các lưu vực vừa và nhỏ khu vực miền núi phía Bắc; phạm vi áp dụng thử nghiệm: lưu vực sông Nghĩa Đô, tỉnh Lào Cai.

6. Các phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân tích thống kê; phương pháp viễn thám - GIS; phương pháp mô hình toán thủy văn.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Đề xuất chỉ số công suất dòng chảy và vận tốc dòng chảy làm ngưỡng cảnh báo nguy cơ lũ quét, phản ánh bản chất mức độ nguy hiểm thực sự của dòng chảy lũ; xây dựng giải pháp xác định nguy cơ lũ quét dạng điểm bằng sự kết hợp của nguyên lý thủy văn và các kỹ thuật GIS.

Ý nghĩa thực tiễn: Cơ sở khoa học xác định nguy cơ lũ quét là tài liệu tin cậy để tham khảo, áp dụng cho các khu vực khác do sử dụng bản chất nội tại của dòng chảy, không phụ thuộc vào vị trí địa lý; phương pháp có thể cảnh báo theo không gian và thời gian ở độ phân giải điểm; giải pháp có thể áp dụng cho các vùng thiếu số liệu với độ tin cậy cao.

8. Những đóng góp mới của luận án

1. Đề xuất ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét dựa trên công suất đơn vị dòng chảy và vận tốc – lần đầu được xây dựng cho khu vực miền núi phía Bắc, phản ánh bản chất vật lý sức tàn phá của dòng chảy, phân biệt được lũ quét với lũ thường.
2. Đề xuất nguyên tắc "lưu vực ô lưới": sử dụng mô hình thủy văn tập trung để tạo ra kết quả dạng phân bố đến độ phân giải điểm theo không gian và thời gian, kết hợp được độ chi tiết theo điểm của các phương pháp chỉ số với bản chất vật lý của phản ứng thủy văn lưu vực.
3. Khái quát hóa hình thái mặt cắt bằng hai chỉ số r và k, cho phép ước tính các tham số thủy lực và áp dụng phương pháp cho các lưu vực vừa và nhỏ thiếu số liệu khảo sát.

9. Kết cấu luận án

Ngoài phần Mở đầu, Kết luận – Kiến nghị và Phụ lục, luận án gồm 3 chương: Chương 1 – Tổng quan các vấn đề nghiên cứu về lũ quét; Chương 2 – Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học xác định nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc; Chương 3 – Áp dụng thử nghiệm xác định nguy cơ lũ quét theo không gian và thời gian cho lưu vực sông Nghĩa Đô.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU VỀ LŨ QUÉT

1.1. Các khái niệm

Chương 1 hệ thống hóa các khái niệm về lũ quét của ACTIFF (2004), APFM (2006), NOAA (2010), WMO (2009) và các nhà khoa học Việt Nam (Cao Đăng Dư & Lê Bắc Huỳnh; Lã Thanh Hà & Ngô Trọng Thuận). Các đặc điểm chính của lũ quét gồm: (1) xảy ra trong thời gian ngắn với biên độ dao động mực nước lớn; (2) dòng chảy có vận tốc lớn; (3) hàm lượng chất rắn cao; (4) sức tàn phá lớn; (5) thường trong khoảng 6 giờ. Hầu hết các đặc điểm này đang được đánh giá **định tính**, gây khó khăn trong việc xác định một trận lũ quét và phân biệt với lũ thường.

1.3. Tổng quan nghiên cứu về các đặc trưng lũ quét

Về đặc trưng dòng chảy, luận án phân tích khả năng cuốn trôi vật liệu của dòng chảy (quan hệ giữa công suất đơn vị dòng chảy và kích thước vật liệu), vận tốc dòng chảy lũ và mức độ nguy hiểm đối với người, phương tiện, công trình, làm cơ sở cho việc lựa chọn công suất và vận tốc làm chỉ số phân cấp.

1.4. Tổng quan các phương pháp xác định nguy cơ lũ quét

Nghiên cứu về lũ quét tập trung vào bốn hướng chính: (1) đánh giá tính nhạy cảm với lũ quét (AHP, FR, WOE, học máy); (2) đánh giá nguy cơ dựa trên lượng mưa; (3) đánh giá dựa trên các yếu tố thủy văn; (4) đánh giá dựa trên các yếu tố thủy lực.

1.5. Tổng quan các chỉ số xác định nguy cơ lũ quét

Các chỉ số/ngưỡng tiêu biểu được phân tích gồm FFPI, DFFHI, đường tới hạn CL, EPIC, RTI, chỉ số mô-đun đỉnh lũ và chỉ số ngưỡng dòng chảy tràn FFG (hệ thống FFGS).

1.7. Những vấn đề còn tồn tại tiếp tục nghiên cứu

Qua tổng quan, luận án chỉ ra các hạn chế: các chỉ số nội tại điểm (FFPI, DFFHI) chưa xét phản ứng thủy văn thượng nguồn nên có thể gây cảnh báo khống ở các vị trí đỉnh núi, sườn dốc; đường tới hạn CL cần dữ liệu lịch sử lớn; hệ thống FFGS tuy hiện đại nhưng bình quân hóa nguy cơ theo tiểu lưu vực và phụ thuộc độ tin cậy của mưa dự báo, đồng thời bị hạn chế do chưa làm chủ mã nguồn.

So với hệ thống FFGS, hệ thống trong luận án khác ở ba điểm chính: xác định nguy cơ theo điểm (mỗi điểm là cửa ra một lưu vực, dùng mô hình thông số tập trung); ngưỡng phân cấp theo công suất và vận tốc dòng chảy, trong khi FFGS dùng lưu lượng tràn bờ; mã nguồn do luận án tự phát triển.

Trên cơ sở đó, luận án xác định hai khoảng trống cần giải quyết: (i) chưa có ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét dựa trên bản chất vật lý của dòng chảy (công suất, vận tốc) cho khu vực miền núi phía Bắc; và (ii) chưa có giải pháp xác định nguy cơ lũ quét đến độ phân giải điểm theo không gian và thời gian.

CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CƠ SỞ KHOA HỌC XÁC ĐỊNH NGUY CƠ LŨ QUÉT CHO KHU VỰC MIỀN NÚI PHÍA BẮC

2.1. Cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng

Luận án tiếp cận theo quan điểm lũ quét là kết quả cực đoan của phản ứng thủy văn của một lưu vực cụ thể. Mỗi điểm trên mạng lưới sông suối được xem là cửa ra của một lưu vực thượng nguồn độc lập ("lưu vực ô lưới"); dòng chảy tại mỗi điểm được mô phỏng bằng phương pháp tổn thất SCS-CN kết hợp đường quá trình lũ đơn vị, tích hợp với các kỹ thuật GIS.

Phương pháp mô hình toán thủy văn (SCS-CN + đường quá trình lũ đơn vị). Phương pháp SCS-CN dựa trên phương trình cân bằng nước và hai giả thiết cơ bản, cho ra biểu thức mưa hiệu dụng (dòng chảy trực tiếp):

$$P_e = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S) \quad (2\text{-}3)$$

$$I_a = \lambda \cdot S \quad (2\text{-}4)$$

$$S = 1000/CN - 10 \quad (2\text{-}5)$$

trong đó P_e là lớp dòng chảy mặt (mưa hiệu dụng); P là tổng lượng mưa; I_a là tổn thất ban đầu; S là lượng giữ nước tiềm năng tối đa (đơn vị inch; nhân 25,4 để đổi sang mm); λ là hệ số tổn thất thấm ban đầu; CN là chỉ số đường cong (Curve Number, xác định từ nhóm đất thủy văn và thảm phủ). Lưu lượng đỉnh lũ đơn vị và thời gian đạt đỉnh được xác định theo:

$$q_p = K \cdot A \cdot P_e / T_p \quad (2\text{-}6)$$

$$K = 2 / (1 + T_r/T_p) \quad (2\text{-}7)$$

$$T_p = l^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7} / (1900 \cdot Y^{0,5}) \quad (2\text{-}8)$$

trong đó q_p là lưu lượng đỉnh lũ (m^3/s); A là diện tích lưu vực (m^2); T_p là thời gian đạt đỉnh (giờ); T_r là thời gian nước rút của đường quá trình đơn vị; K là hệ số (với $T_r/T_p = 1,67$ thì $K = 0,75$); l là chiều dài dòng chảy (ft); Y là độ dốc trung bình lưu vực (%). Đường quá trình lũ được xây dựng bằng nguyên lý xếp chồng đường quá trình đơn vị và tách dòng chảy cơ sở theo Eckhardt.

2.2. Xác định ngưỡng cảnh báo nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc

2.2.1. Xác định ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét

Theo Bagnold, tổng công suất dòng chảy và công suất đơn vị dòng chảy được xác định:

$$\Omega = \rho \cdot g \cdot Q \cdot S_e \quad (2\text{-}14)$$

$$\omega = \Omega / w \quad (2\text{-}15)$$

trong đó Ω là tổng công suất dòng chảy tại mặt cắt (W/m); ω là công suất đơn vị dòng chảy (W/m^2); ρ là khối lượng riêng của dòng nước (kg/m^3, đối với nước lấy 1000); g là gia tốc trọng trường (≈ 9,81 m/s^2); Q là lưu lượng (m^3/s); S_e là độ dốc thủy lực (m/m); w là bề rộng bình quân mặt cắt (m). Công thức cho phép điều chỉnh ρ với các trận lũ giàu trầm tích.

Trên cơ sở thống kê các trận lũ quét đã xảy ra và quan hệ $\omega = a \cdot D^b$ giữa công suất đơn vị và kích thước vật liệu bị cuốn trôi (đá kích thước 1,0÷3,0 m tương ứng công suất 1.200÷4.500 W/m^2), luận án đề xuất ngưỡng phân cấp mức độ lũ theo công suất đơn vị:

Bảng 2-4. Đề xuất xem xét ngưỡng phân cấp mức độ lũ dựa trên công suất đơn vị

Cấp độ	Mô tả	Kích thước hạt cuốn trôi (m)	Công suất đơn vị đề xuất (W/m²)
0	Không có lũ	0,0 ÷ 0,2	0 ÷ 200
1	Lũ nhỏ	0,2 ÷ 0,5	200 ÷ 500
2	Lũ nhanh	0,5 ÷ 1,0	500 ÷ 1.200
3	Lũ quét	1,0 ÷ 1,5	1.200 ÷ 2.000
4	Lũ quét lớn	≥ 1,5	≥ 2.000

Về ngưỡng tối thiểu, luận án lựa chọn mực nước $h \geq 0,5$ m và vận tốc $v \geq 2,0$ m/s để xem xét một trận lũ là lũ quét; mức này tương thích với tích số mực nước × vận tốc ≥ 1,0 m²/s theo hướng dẫn mức độ nguy hiểm ngập lũ của Úc. Vì công suất và vận tốc có liên quan nhưng không quyết định lẫn nhau, luận án đề xuất bảng phân cấp nguy cơ lũ quét theo đồng thời hai đại lượng:

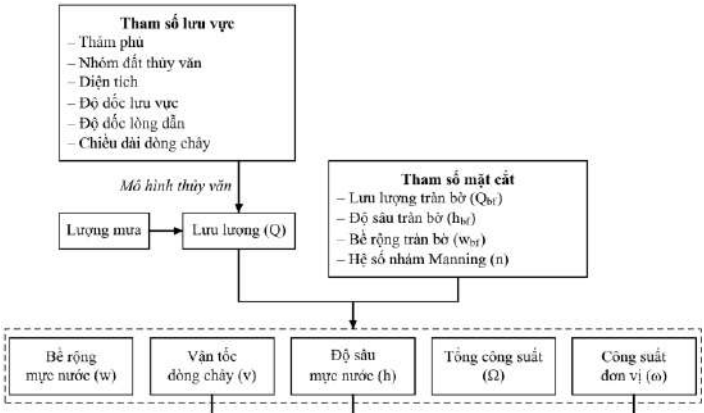
Bảng 2-5. Phân cấp nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc

Vận tốc dòng chảy (m/s)	Công suất đơn vị dòng chảy (W/m²)				
	< 200	**200 ÷ 500**	**500 ÷ 1.200**	**1.200 ÷ 2.000**	**≥ 2.000**
2,0 ÷ 3,0	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Trung bình	Trung bình
3,0 ÷ 5,0	Thấp	Trung bình	Trung bình	Cao	Cao
5,0 ÷ 7,0	Trung bình	Trung bình	Cao	Cao	Rất cao
≥ 7,0	Trung bình	Cao	Cao	Rất cao	Rất cao

Ghi chú: cột giá trị là công suất đơn vị dòng chảy (W/m²). Khi vận tốc < 2,0 m/s hoặc mực nước ước tính < 0,5 m thì nguy cơ lũ quét không được xem xét.

2.2.2. Xây dựng quy trình xác định nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc

Quy trình xác định nguy cơ lũ quét tại một điểm gồm 4 bước: (1) xác định độ dốc lòng dẫn; (2) xác định lưu lượng lớn nhất (mô hình thủy văn); (3) xác định bề rộng, vận tốc, độ sâu mực nước; (4) xác định công suất đơn vị và phân cấp nguy cơ.



Vận tốc dòng chảy (m/s)	Công suất đơn vị dòng chảy (W/m²)				
	< 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1.200	1.200 ÷ 2.000	≥ 2.000
2,0 ÷ 3,0	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Trung bình	Trung bình
3,0 ÷ 5,0	Thấp	Trung bình	Trung bình	Cao	Cao
5,0 ÷ 7,0	Trung bình	Trung bình	Cao	Cao	Rất cao
≥ 7,0	Trung bình	Cao	Cao	Rất cao	Rất cao

Hình 2-22. Quy trình xác định nguy cơ lũ quét trong nghiên cứu cho một điểm

Để ước tính các tham số thủy lực tại mọi vị trí trong điều kiện không thể khảo sát toàn bộ mặt cắt, luận án khái quát hóa hình thái lòng dẫn theo Dingman bằng **hệ số hình dạng mặt cắt r** và **tỷ số bề rộng/độ sâu tràn bờ k = w_{bf}/h_{bf}**:

$$h = h_{bf} \cdot (w/w_{bf})^{r} \qquad (2\text{-}16)$$

Kết hợp phương trình Manning (với bán kính thủy lực R ≈ độ sâu trung bình dòng chảy), thu được quan hệ lưu lượng – độ sâu và vận tốc:

$$Q = (1/n) \cdot k \cdot S^{1/2} \cdot h_{bf}^{(1-1/r)} \cdot h^{(5/3+1/r)} \cdot (r/(r+1))^{5/3} \qquad (2\text{-}22)$$

$$v = (1/n) \cdot (h \cdot r/(r+1))^{2/3} \cdot S^{1/2} \qquad (2\text{-}21)$$

trong đó n là hệ số nhám Manning; S là độ dốc lòng dẫn. Lưu lượng tràn bờ được xác định theo dạng công thức $Q_{bf} = \alpha \cdot A^{\beta}$ (với khu vực phía Bắc, các hệ số xác định từ số liệu 34 trạm thủy văn là α = 3,6 và β = 0,765; vùng Đông Bắc và Việt Bắc, vùng Tây Bắc có bộ hệ số riêng), từ đó suy ra độ sâu tràn bờ:

$$h_{bf} = [\, n \cdot Q_{bf} / (\, k \cdot S^{1/2} \cdot (r/(r+1))^{5/3} \,) \,]^{3/8} \qquad (2\text{-}25)$$

Khi biết lưu lượng tại một vị trí, lần lượt thay vào (2-22) để ước tính độ sâu h, vào (2-21) để tính vận tốc v và vào (2-16) để tính bề rộng w, từ đó xác định công suất đơn vị ω phục vụ phân cấp nguy cơ.

Trên cơ sở 132 mặt cắt tại 8 hệ thống sông, suối nhỏ khu vực miền núi phía Bắc (các suối Xuân Lạc, Nam Cường, Pắc Ngòi, Nậm Ly, Nà Nhùng, Tà Lùng, Lũng Pô, Sông Bạc), luận án phân tích thống kê hai chỉ số. Kết quả: r nằm trong khoảng 1÷7, giá trị xuất hiện nhiều nhất r = 2 (≈ 25%), trung bình 2,68 – trung vị 2,0; k dao động 1,8÷53,55, trung bình 11,3 nhưng trung vị 8,5 (phân

bố lệch phải). Luận án kiến nghị lấy r = 2,0 và k = 8,5 (giá trị trung vị) làm chỉ số đại diện cho khu vực miền núi phía Bắc để tính toán trong điều kiện thiếu số liệu; hệ số nhám đại diện n = 0,04.

2.3. Kiểm chứng ngưỡng cảnh báo nguy cơ lũ quét với một số trận lũ quét đã xảy ra trên khu vực miền núi phía Bắc

Ngưỡng phân cấp được kiểm chứng với 9 trận lũ quét có đầy đủ dữ liệu quan trắc mưa theo giờ trên khu vực miền núi phía Bắc (lấy n = 0,04; k = 8,5; r = 2,0 đại diện). Đúng với phạm vi nghiên cứu, cả 9 trận đều là lũ quét do mưa, hồ sơ các trận không ghi nhận vỡ đập hay nghẽn dòng. Kết quả cho thấy tất cả các trận đều đáp ứng điều kiện cần ($h \geq 0,5$ m; $v \geq 2$ m/s); phân cấp phù hợp với tính chất thực tế của trận lũ.

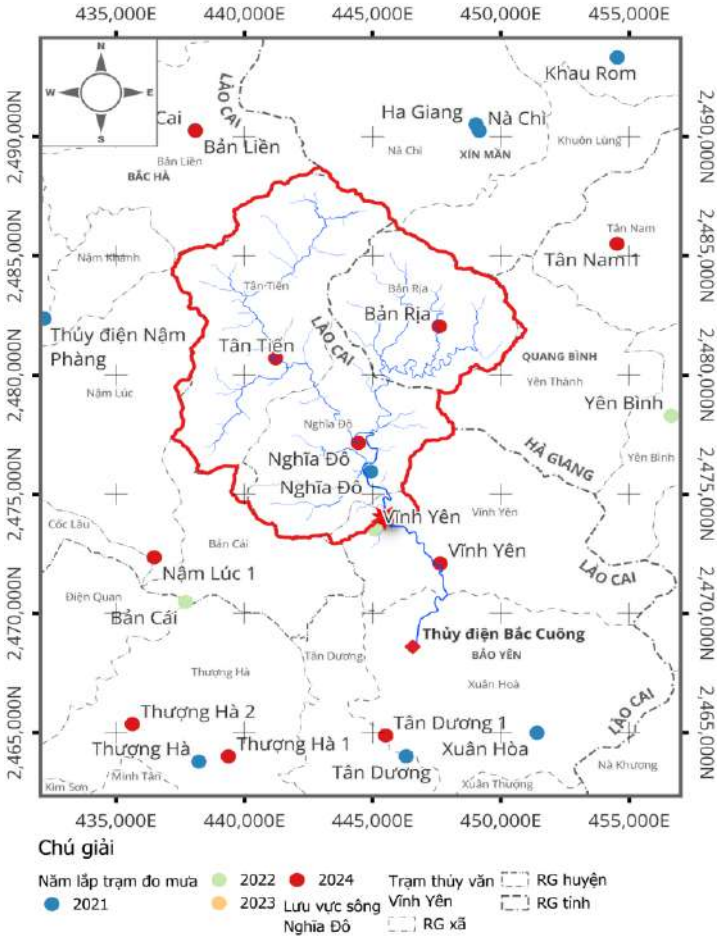
Bảng 2-13. Kết quả các tham số phục vụ xác định nguy cơ lũ quét của một số trận lũ trên khu vực miền núi phía Bắc (trích)

TT	Tên	Qmax (m^3/s)	v (m/s)	ω (W/m^2)	Phân cấp nguy cơ
1	Bản Co Muồng	49,44	3,563	1.107	Trung bình
2	Thôn Na Pao	59,59	2,168	222	Thấp
3	Thôn Kim Vân	72,76	4,235	1.763	Cao
4	Lương Sơn	79,93	2,493	324	Thấp
5	Nậm Păm (2022)	192,32	5,963	4.482	Rất cao
6	Trạm Y tế xã Hô Bốn	240,93	7,451	8.177	Rất cao
7	Nậm Păm (2021)	350,57	7,238	7.273	Rất cao
8	Chà Tở	58,10	3,314	855	Trung bình
9	Nậm Păm (2017)	84,22	4,569	2.303	Cao

Các trận được xác định "Rất cao" (Hồ Bốn 2023, Nậm Păm 2021 với $v > 7$ m/s, $\omega > 7.000$ W/m²) đều là lũ quét lớn có thiệt hại về người; các trận "Thấp" (Bản Lầu, Lương Sơn với $\omega = 222 \div 324$ W/m²) thực chất mang tính chất ngập lũ – cho thấy sự phù hợp của ngưỡng phân cấp đề xuất.

CHƯƠNG 3. ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM XÁC ĐỊNH NGUY CƠ LŨ QUÉT THEO KHÔNG GIAN VÀ THỜI GIAN CHO LƯU VỰC SÔNG NGHĨA ĐÔ

3.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu



Hình 3-1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và các trạm quan trắc

Khu vực nghiên cứu là lưu vực sông Nghĩa Đô, tỉnh Lào Cai, với cửa ra tại trạm thủy văn Vĩnh Yên. Lưu vực được lựa chọn do thường xuyên xảy ra lũ quét và có đầy đủ số liệu quan trắc mưa, lưu lượng từ năm 2021 đến nay (nhờ mạng lưới đo mưa xã hội hóa Vrain, WeatherPlus). Trận lũ ngày 09/09/2024 (hoàn lưu bão Yagi) gây thiệt hại khoảng 4 tỷ đồng trên lưu vực, vỡ thân đập Bản Rịa.

3.2. Xây dựng mô hình thủy văn – GIS theo "lưu vực ô lưới"

Trên cơ sở phân tích GIS, mỗi điểm thuộc khu vực nghiên cứu có các giá trị riêng về độ dốc, chỉ số CN…; thuật toán hướng dòng chảy xác định lưu vực thượng nguồn tương ứng với mỗi điểm (nguyên tắc lưu vực ô lưới). Từ dữ liệu thực đo tại trạm Vĩnh Yên, hệ số tổn thất ban đầu của lưu vực được xác định λ = 0,1 (trên cơ sở đánh giá 16 trận lũ gần đây); đường lũ đơn vị không thứ nguyên được khôi phục từ trận lũ ngày 21/8/2022. Hai tham số này được dùng chung cho toàn bộ các lưu vực ô lưới trong phạm vi nghiên cứu.

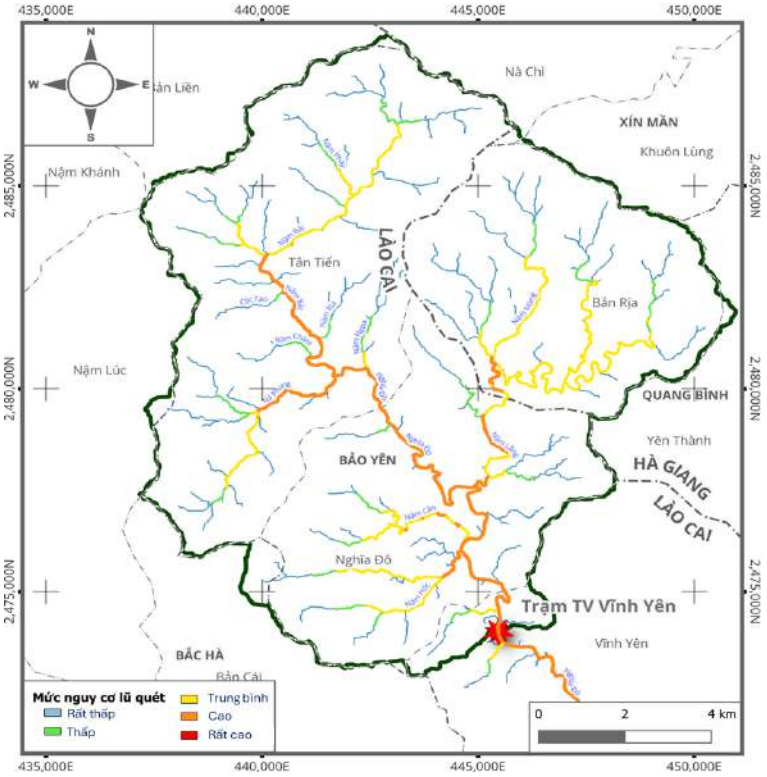
Mô hình mưa – dòng chảy cho lưu vực có cửa ra tại trạm Vĩnh Yên đạt hệ số NASH = 0,95 (giai đoạn hiệu chỉnh) và NASH = 0,81 (giai đoạn kiểm định, trận 07/9/2023); một số trận lũ khác cũng cho thấy sự phù hợp của mô hình.

3.3. Xác định đặc trưng lưu vực sông Nghĩa Đô

Dựa trên số liệu mặt cắt tại trạm thủy văn Vĩnh Yên, các tham số hình thái mặt cắt được xác định tại chỗ: r = 2,5 và k = 8,72 (số liệu thực đo), dùng chung cho mọi mặt cắt thuộc khu vực nghiên

cứu để tính mực nước, bề rộng và vận tốc dòng chảy. Các giá trị đo tại Vĩnh Yên gần với giá trị khái quát hóa toàn vùng (r trung vị 2,0; k trung vị 8,5), củng cố tính hợp lý của bộ tham số đặc trưng. Do lưu vực có số liệu, hệ số nhám được hiệu chỉnh riêng $n \approx 0{,}095$ (thay cho giá trị đại diện $n = 0{,}04$ dùng cho vùng không có số liệu).

3.4. Xây dựng bản đồ nguy cơ lũ quét trận lũ ngày 09/09/2024



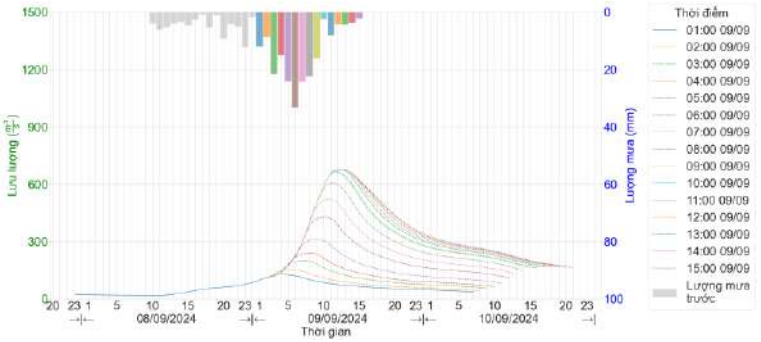
Hình 3-19. Bản đồ nguy cơ lũ quét ngày 09/09/2024 khu vực suối Nghĩa Đô

Nguy cơ lũ quét cao đã xuất hiện dọc suối chính Nghĩa Đô (bắt đầu từ cuối xã Tân Tiến, quét qua xã Nghĩa Đô, xã Vĩnh Yên): công suất đơn vị dao động 2.700÷3.200 W/m², cực đại ≈ 3.900 W/m², vận tốc 3,5÷4,0 m/s. Các nhánh suối thượng nguồn hầu hết ở mức rất thấp và thấp do vận tốc < 2,0 m/s (mực nước < 0,5 m). Khu vực không xuất hiện lũ quét lớn (vận tốc lớn nhất chỉ ≈ 4,0 m/s).

Kết quả xác định nguy cơ theo thời gian. Luận án mô phỏng nguy cơ tại từng thời điểm (mỗi giờ) từ 01:00 đến 15:00 ngày 09/09/2024, với giả thiết không có mưa sau thời điểm tính. Kết quả cho thấy quan hệ đánh đổi giữa độ tin cậy (mưa càng nhiều thì ước tính lưu lượng càng sát thực) và thời gian cảnh báo trước (mưa càng nhiều thì thời gian còn lại càng ngắn). Lượt tính lúc 06:00 (khi mưa giờ bình quân đạt cực đại 33,24 mm) cân bằng tốt nhất giữa hai đại lượng này: mô hình dự báo lưu lượng 428,49 m³/s, thời gian cảnh báo trước tới 4 giờ 10 phút tại trạm Vĩnh Yên.

Bảng 3-12. Tổng hợp diễn biến lưu lượng dự kiến tại trạm Vĩnh Yên theo thời gian

Thời điểm mô phỏng	Lưu lượng lớn nhất dự kiến (m³/s)	Thời gian đạt đỉnh	Thời gian cảnh báo trước (phút)
01:00 09/09	127,51	04:10 09/09	190
03:00 09/09	198,21	07:10 09/09	250
06:00 09/09	428,49	10:10 09/09	250
09:00 09/09	663,20	11:40 09/09	160
12:00 09/09	679,02	12:30 09/09	30
15:00 09/09	681,11	12:30 09/09	−150



Hình 3-23. Mô phỏng lũ tại từng thời điểm và kết quả dự báo lưu lượng đỉnh lũ tại trạm thủy văn Vĩnh Yên

3.5. Xây dựng công cụ mô phỏng nguy cơ lũ quét theo không gian và thời gian

Luận án xây dựng công cụ mô phỏng gồm 7 bước: thu nhận lượng mưa → nội suy raster mưa → lựa chọn điểm mô phỏng → mô phỏng mưa – dòng chảy → lưu trữ kết quả (lọc lưu lượng đỉnh ≥ 0,1 m^3/s) → xây dựng bản đồ lưu lượng lớn nhất → xác định các tham số trận lũ và xây dựng bản đồ nguy cơ. Công cụ cho phép click vào từng vị trí để hiển thị lưu vực ô lưới tương ứng cùng đầy đủ thông tin thủy văn – thủy lực. Tổng thời gian tính toán cho toàn lưu vực (~135 km^2), từ khi ghi nhận lượng mưa đến khi đưa ra bản đồ nguy cơ, khoảng 3 phút – đáp ứng yêu cầu vận hành cảnh báo theo thời gian thực.

3.6. Đánh giá kết quả áp dụng thử nghiệm

So với các nghiên cứu cảnh báo lũ quét gần đây trên cùng địa bàn (hướng FFGS của Trịnh Thu Phương; bản đồ nhạy cảm tĩnh của Lê Như Ngà; phát hiện vùng lũ từ ảnh Sentinel-1 của Ngô Thị Phương Thảo), điểm bổ sung của luận án nằm ở độ phân giải

không gian dạng điểm, thời gian và cơ sở phân cấp theo đặc trưng dòng chảy (công suất, vận tốc).

Kết quả thử nghiệm cho thấy: công suất đơn vị (ω) và vận tốc (v) bổ sung thông tin cho nhau, không quy về nhau; thang phân cấp sắp xếp các trận lũ theo thứ bậc nhất quán với mức độ thiệt hại (trận 09/09/2024 phân cấp "Cao" – gây hư hỏng hạ tầng nhưng không thiệt hại về người – nằm ở vị trí trung gian hợp lý giữa các trận "Rất cao" và "Thấp"). Ngưỡng vận tốc tối thiểu $v \geq 2{,}0$ m/s đóng vai trò sàng lọc, loại bớt các ô lưới thượng nguồn dốc nhưng nông. Đầu ra của phương pháp phục vụ được cả hai mục đích: bản đồ nguy cơ lớn nhất tại từng điểm (phân vùng, quy hoạch) và chuỗi bản đồ nguy cơ theo giờ (cảnh báo, vận hành ứng phó).

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Những kết quả đạt được

Về mục tiêu thứ nhất (phân cấp nguy cơ và xây dựng bộ công cụ):

(1) Xác lập được ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét cho khu vực miền núi phía Bắc dựa trên công suất đơn vị dòng chảy và vận tốc, gồm 5 cấp theo công suất đơn vị (< 200; 200–500; 500–1.200; 1.200–2.000; ≥ 2.000 W/m²) kết hợp điều kiện tối thiểu v ≥ 2,0 m/s và h ≥ 0,5 m; ngưỡng đã được kiểm chứng với 9 trận lũ quét thực tế. Phương pháp phản ánh đúng bản chất nguy hiểm của dòng chảy và giải thích được vì sao lũ quét không hình thành trên đỉnh núi hay trên các sông lớn.

(2) Xây dựng được quy trình và bộ công cụ xác định nguy cơ lũ quét đến độ phân giải điểm theo nguyên tắc "lưu vực ô lưới", với tổng thời gian tính khoảng 3 phút cho lưu vực rộng ~135 km².

(3) Khái quát hóa được hình thái mặt cắt sông suối nhỏ miền núi phía Bắc bằng hai chỉ số đặc trưng r = 2,0 và k = 8,5 (trung vị của 132 mặt cắt trên 8 hệ thống sông suối), cho phép ước tính các tham số thủy lực (vận tốc, mực nước, bề rộng) trong điều kiện thiếu số liệu.

Về mục tiêu thứ hai (áp dụng cho lưu vực điển hình):

(4) Áp dụng thành công cho lưu vực sông Nghĩa Đô: hiệu chỉnh hệ số tổn thất ban đầu λ = 0,1 (từ 16 trận lũ) và tham số mặt cắt tại chỗ r = 2,5; k = 8,72; mô hình mưa – dòng chảy đạt hệ số NASH 0,95 (hiệu chỉnh) và 0,81 (kiểm định); mô phỏng trận lũ 09/09/2024 cho đỉnh lũ ~681 m³/s, phân cấp nguy cơ

"Cao" trên suối chính Nghĩa Đô, thời gian cảnh báo sớm đạt tới ~4 giờ tại trạm thủy văn Vĩnh Yên.

Các kết quả trên đã trả lời đầy đủ ba câu hỏi nghiên cứu và chứng minh ba luận điểm bảo vệ của luận án: (i) công suất đơn vị và vận tốc là cơ sở vật lý để phân cấp nguy cơ lũ quét; (ii) nguyên tắc "lưu vực ô lưới" cho phép xác định nguy cơ đến độ phân giải điểm với tốc độ đáp ứng vận hành; (iii) hình thái mặt cắt khái quát hóa bằng r, k cho phép áp dụng cho lưu vực thiếu số liệu.

2. Những đóng góp mới

1. Đề xuất ngưỡng phân cấp nguy cơ lũ quét dựa trên công suất đơn vị dòng chảy và vận tốc – lần đầu được xây dựng cho khu vực miền núi phía Bắc, phản ánh bản chất vật lý sức tàn phá của dòng chảy, phân biệt được lũ quét với lũ thường.
2. Đề xuất nguyên tắc "lưu vực ô lưới": sử dụng mô hình thủy văn tập trung để tạo ra kết quả dạng phân bố đến độ phân giải điểm theo không gian và thời gian – kết hợp được độ chi tiết theo điểm của các phương pháp chỉ số (FFPI, FR, MCA) với bản chất vật lý của phản ứng thủy văn lưu vực, đồng thời chi tiết hơn các hệ thống cảnh báo theo tiểu lưu vực (FFG/FFGS).
3. Khái quát hóa hình thái mặt cắt bằng hai chỉ số r và k, cho phép ước tính các tham số thủy lực và áp dụng phương pháp cho các lưu vực vừa và nhỏ thiếu số liệu khảo sát.

3. Tồn tại và kiến nghị

– Việc sử dụng dữ liệu mưa thực đo khi áp dụng cho lưu vực sông Nghĩa Đô làm thời đoạn cảnh báo còn ngắn và chưa hoàn toàn phù hợp với các lưu vực rất nhỏ (khi bước thời gian quan trắc mưa lớn hơn độ trễ của lưu vực). Phương pháp phù hợp với các lưu vực có độ trễ lớn hơn 1 giờ; cần bước thời gian quan trắc liên tục (ví dụ 10 phút/lần) để đạt kết quả tốt nhất.

– Giả thiết không có mưa sau thời điểm tính có thể gây sai số tạm thời; kiến nghị kết hợp lượng mưa dự báo hạn cực ngắn (1÷6 giờ) và dữ liệu radar thời tiết để tăng thời gian cảnh báo. Luận án chưa đánh giá độ tin cậy của mưa dự báo nên chưa đưa vào tính toán; công cụ đã có sẵn đầu vào cho mưa dự báo.

– Các tham số thực nghiệm (CN, độ nhám, số liệu mặt cắt) tốn kém và mang tính đặc trưng vùng; cần khảo sát, đánh giá cụ thể cho từng khu vực để tăng độ tin cậy. Số lượng 132 mặt cắt để khái quát hóa r, k còn khiêm tốn so với quy mô toàn vùng.

– Phương pháp SCS-CN áp dụng cho lưu vực diện tích nhỏ hơn 250 km², do đó các điểm trên sông lớn (lưu vực thượng nguồn > 250 km²) cần chuyển sang mô phỏng thủy lực.

– Nguyên tắc lưu vực ô lưới không diễn toán dòng chảy giữa các điểm nên chưa mô tả quá trình truyền lũ, bùn cát và vật liệu bị cuốn từ thượng nguồn về hạ lưu.

– Công suất dòng chảy hiện được tính với khối lượng riêng của nước trong (ρ = 1.000 kg/m³) nên các giá trị công suất và

mức nguy cơ nên được hiểu là **cận dưới**; dòng lũ quét thực tế cuốn theo bùn đá có khối lượng riêng lớn hơn nên công suất thực tế sẽ cao hơn.

– Vận tốc tính theo công thức Manning với giả thiết dòng chảy đều, bán kính thủy lực xấp xỉ độ sâu trung bình; ở suối miền núi hẹp, dốc khi có lũ quét, sai số do hai giả thiết này chưa được đánh giá trong phạm vi luận án.

– Bản đồ nguy cơ thể hiện cấp cường độ dòng chảy lũ theo từng trận mưa; để có bản đồ nguy cơ theo xác suất xuất hiện cần tính với mưa thiết kế ứng với các tần suất khác nhau.

4. Các hướng nghiên cứu tiếp theo

– Nghiên cứu xác định chỉ số hình thái mặt cắt (r, k) cho từng khu vực, tiểu khu vực trên phạm vi toàn quốc, hướng tới bài toán xác định nguy cơ lũ quét trên diện rộng.

– Nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của dữ liệu mưa dự báo, khuyến nghị lựa chọn lượng mưa dự báo thời đoạn cực ngắn (dưới 6 giờ) phục vụ tính toán nguy cơ lũ quét, nhằm hạn chế cảnh báo khống.

– Nghiên cứu tích hợp khối lượng riêng của hỗn hợp bùn đá vào tính công suất dòng chảy để phản ánh đầy đủ hơn mức nguy hiểm của lũ quét giàu trầm tích.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Lê Văn Thìn**, Trần Đình Hòa (2023), "Các phương pháp xác định nguy cơ lũ quét", *Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển nông thôn*, T9, tr. 164–172.
2. **Lê Văn Thìn** (2023), "Phân tích một số đặc điểm hình thành lũ quét tại xã Chà Tở, huyện Nậm Pồ, tỉnh Điện Biên tháng 7/2023", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, tr. 99–103.
3. **Lê Văn Thìn** (2024), "Nghiên cứu phương pháp hiệu chỉnh hệ số tổn thất ban đầu và xây dựng đường quá trình lũ đơn vị trong tính toán thủy văn cho lưu vực suối Bắc Cuông, tỉnh Lào Cai", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 84, tr. 67–77.
4. **Thin Van Le**, Duong Cao Phan, Hoa Dinh Tran and Giap Dang Nguyen (2026), "Characterizing cross-sectional shape indices for hydraulic estimation in small mountainous streams: a case study in Northern Vietnam", *Sustainable Water Resources Management*, vol. 12, no. 1, Art. no. 3, doi: 10.1007/s40899-025-01313-5.